



## Обеспечение возможности использования штатного комплекта фильтрующего противогАЗа в изолирующем режиме защиты

А.Ю. Ковалев, С.В. Блинов, С.А. Ткаченко, М.П. Шабельников, О.А. Кулажин

Федеральное государственное бюджетное учреждение  
«27 Научный центр» Министерства обороны Российской Федерации  
111024, Российская Федерация, г. Москва, проезд Энтузиастов, д. 19  
e-mail: 27nc\_1@mil.ru

Поступила 09.08.2023 г. Принята к публикации 27.09.2023 г.

Средства индивидуальной защиты органов дыхания комбинированного типа, совмещающие функции очистки воздуха и режима полной изоляции от окружающей среды, не получили значительного развития вследствие сложности конструкции, обуславливающей ограничения их использования. Вместе с тем, как показывает накопленный опыт действий спасательных воинских формирований сил гражданской обороны, МЧС Российской Федерации и подразделений войск радиационной, химической и биологической защиты Вооруженных Сил Российской Федерации, использование средств защиты комбинированного типа в ряде случаев является крайне необходимым. *Цель работы* – разработать конструкцию универсального модуля, подключаемого к маске фильтрующего противогАЗа, для возможности реализации режима полной изоляции от окружающего воздуха. *Материалы и методы.* Обоснование конструкции универсального модуля осуществлялось на основе имеющихся разработок конструктивно-схемных решений узлов и элементов ФП и ИДА СВ. Прогнозная оценка работоспособности конструкции узлов съемного модуля осуществлялась расчетным способом в среде Microsoft Excel 2013 по методам аэро- и гидродинамических расчетов технологических систем. Проверка работоспособности основных конструктивных узлов модуля проводилась в лабораторных условиях при моделировании параметров внешнего дыхания человека. *Обсуждение результатов.* Были решены следующие задачи: обоснованы технические характеристики универсального модуля, обеспечивающие сохранение показателей основных защитных, эксплуатационных и эргономических свойств фильтрующих противогАЗов и конструкция универсального модуля с прогнозной оценкой работоспособности его основных узлов; изготовлена физическая модель универсального модуля; проведена экспериментальная проверка работоспособности его основных конструктивных узлов. *Вывод.* Полученные результаты подтвердили работоспособность конструктивно-схемных решений универсального модуля, обеспечивающего реализацию режима полной изоляции от окружающего воздуха в штатном комплекте фильтрующего противогАЗа.

**Ключевые слова:** изолирующий дыхательный аппарат; изолирующим режим работы; сжатый воздух; универсальный модуль; фильтрующий противогАЗ..

**Для цитирования:** Ковалев А.Ю., Блинов С.В., Ткаченко С.А., Шабельников М.П., Кулажин О.А. Обеспечение возможности использования штатного комплекта фильтрующего противогАЗа в изолирующем режиме работы. Вестник войск РХБ защиты. 2023;7(3): 286–298. EDN:tquozl.  
<https://doi.org/10.35825/2587-5728-2023-7-3-286-298>

## Ensuring the Possibility of Using a Standard Set of Filter Gas Masks in an Isolating Protection Mode

A.Yu. Kovalev, S.V. Blinov, S.A. Tkachenko, M.P. Shabelnikov, O.A. Kulazhin

Federal State Budgetary Establishment «27 Scientific Centre» of the Ministry of Defence of the Russian Federation, Entuziastov Passage, 19, Moscow 111024, Russian Federation  
e-mail: 27nc\_1@mil.ru

Received 8 September 2023. Accepted 09.27.2023

Combined type personal respiratory protection equipment, combining the functions of air purification and complete isolation from the environment, has not received significant development due to the complexity of the design, which limits their use. At the same time, as the accumulated experience of the actions of rescue military units of the civil defense forces, the Ministry of Emergency Situations of the Russian Federation and units of the radiation, chemical and biological protection troops of the Armed Forces of the Russian Federation shows, the use of combined type protective equipment in a number of cases is extremely necessary. *The purpose of the work* is to develop the design of a universal module connected to a filter gas mask to enable the implementation of a mode of complete isolation from the ambient air. *Materials and methods.* The justification for the design of the universal module was carried out on the basis of existing developments of design and circuit solutions for units and elements of the filter gas mask and self-contained breathing apparatus. Predictive assessment of the performance of the design of the removable module components was carried out by calculation in the Microsoft Excel 2013 environment using methods of aero- and hydrodynamic calculations of technological systems. The functionality of the main structural units of the module was tested in laboratory conditions while simulating the parameters of human external respiration. *The discussion of the results.* The following tasks were solved: the technical characteristics of the universal module were substantiated, ensuring the preservation of the indicators of the main protective, operational and ergonomic properties of filter gas masks and the design of the universal module with a predictive assessment of the performance of its main components; a physical model of the universal module was made; An experimental test of the performance of its main structural components was carried out. *Conclusion.* The results obtained confirmed the operability of the design and circuit solutions of the universal module, which ensures the implementation of a mode of complete isolation from ambient air in a standard set of filter gas masks.

**Keywords:** insulating gas mask; isolating operating mode; compressed air; universal module; filter gas mask.

**For citation:** Kovalev A.Ju., Blinov S.V., Tkachenko S.A., Shabelnikov M.P., Kulazhin O.A. Ensuring the Possibility of Using a Standard Set of Filter Gas Masks in an Isolating Protection Mode. *Journal of NBC Protection Corps.* 2023;7(3):286–298. EDN:tquozl.  
<https://doi.org/10.35825/2587-5728-2023-7-3-286-298>

В зависимости от сложности выполняемых задач по локализации или ликвидации последствий аварий (ЛПА) нормативно-технической документацией Российской Федерации<sup>1</sup> регламентировано применение соответствующих классов средств индивидуальной защиты (СИЗ), включая средства индивидуальной защиты органов дыхания (СИЗОД) фильтрующего и изолирующего типов. Применение СИЗОД фильтрующего и изолирующего типов обеспечивает реализацию двух базовых технологий защиты органов дыхания человека [1]:

- фильтрация и адсорбционная очистка воздуха в условиях опосредованного контакта человека с внешней средой – первая базовая технология, включающая использование фильтрующих противогазов (ФП);

- регенерация воздуха в условиях полной изоляции человека от внешней среды – вторая базовая технология, основанная на применении изолирующих дыхательных аппаратов (ИДА).

История создания фильтрующих противогазов может быть прослежена с XVI в.,

<sup>1</sup> ГОСТ Р 22.9.05–95–1996 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Комплексы средств индивидуальной защиты спасателей. Общие технические требования. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. М.: Издательство стандартов; 1995. 8 с.

когда Леонардо да Винчи описал простую полумаску, предохраняющую моряков от ядовитого порохового дыма [2]. Ускоренное развитие фильтрующих противогазов началось в Первую мировую войну, сразу после применения на поле боя хлора в апреле 1915 г. Тогда же появился первый эффективный противогаз Зелинского–Кумманта, использующий для поглощения отравляющих веществ (ОВ) слой активированного угля [3–5]. С этого момента и по настоящее время во всех технологически развитых странах идет процесс непрерывного совершенствования ФП и его различных модификаций. Однако все они имеют ряд существенных ограничений области использования, основными из которых являются [6, 7]:

- невозможность использования ФП в замкнутом или полужамкнутом пространстве, в том числе при объемной доле кислорода в воздухе менее 18 %;

- защита органов дыхания не может быть обеспечена на требуемом уровне при суммарной объемной доле ядовитых паров и газов в воздухе более 0,5 % или при неизвестном составе загрязняющих атмосферу веществ;

- применение ФП невозможно в присутствии практически несорбирующихся газов (например, углеводородов типа метан, этан, бутан, этилен, ацетилен и др.).

Указанные ограничения применимости ФП обусловили развитие изолирующих дыхательных аппаратов, конструкция которых исключает непосредственное взаимодействие человека с окружающей средой.

Известны три типа ИДА: на сжатом кислороде (в последующем – на сжатом воздухе), шланговые и на химически связанном кислороде (в последующих разработках ИДА химический поглотитель углекислого газа был заменен на регенеративный продукт, обеспечивающий выделение кислорода при поглощении углекислого газа)<sup>2</sup>.

Как показал опыт учений и непосредственного проведения мероприятий ЛПА на

опасных химических объектах [8, 9], проведение работ в ИДА подразумевает выполнение ряда последовательных мероприятий: перевод в «боевое» положение безопасном месте, выдвигание по маршруту к указанному объекту, непосредственное выполнение работ в очаге аварии, возвращение на рубеж (место) обработки СИЗ и их последующее снятие<sup>3</sup>. Показательно, что время, затрачиваемое на выполнение работ в очаге аварии, значительно меньше времени проведения других указанных мероприятий<sup>4</sup>, в течение которого безопасность спасателей может быть обеспечена фильтрующими противогазами.

Наиболее целесообразным способом обеспечения защиты спасателей, адекватной уровню химической опасности, является применение изолирующе-фильтрующих аппаратов (ИФА)<sup>5</sup>, в которых основным режимом работы должен являться фильтрующий режим защиты, а второстепенным – режим полной изоляции от окружающего воздуха. Однако современные отечественные разработки ИФА базируются на использовании принципа регенерации дыхательной смеси надперекисными препаратами, исключающего повторное включение в аппарат после перерыва в работе. Лишенные этого недостатка ИФА на сжатом воздухе в Российской Федерации не выпускаются, а зарубежные образцы (например, аппараты Spiromatic 324, Spiromatic 90, Spiromatic QS и Spiromatic QS II)<sup>6</sup> обеспечивают защиту в фильтрующем режиме только в качестве дополнительной опции.

В этой связи разработка способа обеспечения возможности применения штатного комплекта фильтрующего противогаза в изолирующем режиме защиты является актуальной.

*Цель работы* – разработать конструкцию универсального модуля, подключаемого к маске фильтрующего противогаза, для возможности реализации режима полной изоляции от окружающего воздуха.

<sup>2</sup> Гудков СВ, Дворецкий СИ, Путин СБ, Таров ВП. *Изолирующие дыхательные аппараты и основы их проектирования: учебное пособие*. М.: Машиностроение; 2008. 188 с.

<sup>3</sup> Одинцов ЛГ, Парамонов ВВ. *Технология и технические средства ведения поисково-спасательных и аварийно-спасательных работ: Справ. пособие*. М.: НЦ ЭИАС; 2004. 232 с.

Артеменко ВФ, Артеменко ГВ. *Технология проведения специальных работ по ликвидации последствий химически опасных аварий. Учебное пособие*. М.: ГАСИС; 2004.

<sup>4</sup> Правила использования средств индивидуальной защиты органов дыхания и зрения личным составом подразделений пожарной охраны. Введены в действие приказом МЧС России от 27.06.2022 № 640.

<sup>5</sup> ГОСТ 12.4.297-2015. Система стандартов безопасности труда. Средства индивидуальной защиты органов дыхания. Изолирующие-фильтрующие автономные средства защиты органов дыхания. М.: Стандартинформ; 2015. 30 с.

<sup>6</sup> Сайт фирмы Interspiro. <https://interspiro.com/en-gb/products/firefighting/scba> (дата обращения: 15.08.2023).

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

- обоснование технических характеристик универсального модуля, обеспечивающих сохранение показателей основных защитных, эксплуатационных и эргономических свойств фильтрующих противогазов и ИДА в соответствующих режимах защиты;
- обоснование конструкции универсального модуля, и прогнозная оценка работоспособности его основных узлов;
- изготовление физической модели универсального модуля, и экспериментальная проверка работоспособности его основных конструктивных узлов.

### Материалы и методы

Обоснование конструкции универсального модуля осуществляли на основе имеющихся разработок конструктивно-схемных решений узлов и элементов ФП и ИДА СВ. Прогнозную оценку работоспособности конструкции узлов съемного модуля осуществляли расчетным способом в среде Microsoft Excel 2013 по методам аэро- и гидродинамических расчетов технологических систем<sup>7</sup>.

Модель универсального модуля конструировали с использованием российской системы параметрического автоматизированного проектирования и черчения T-FLEX CAD. Изготовление физической модели образца осуществляли на 3D принтере, реализующем технологию печати фотополимерным способом. Проверку работоспособности основных конструктивных узлов модуля проводили в лабораторных условиях при моделировании параметров внешнего дыхания человека.

### Результаты и обсуждение

В соответствии с целью исследований разрабатываемый модуль должен функционально сочетать в своей конструкции два узла: узел открытой схемы дыхания (фильтрующий режим работы) и узел полуоткрытой схемы дыхания (изолирующий режим работы).

Устройство фильтрующего противогаза, несмотря на значительную номенклатуру изделий, форм и способов их изготовления, технически можно охарактеризовать как проточную газовую камеру периодического действия, в которой побудителем расхода

газа (воздуха) являются легкие человека (рисунок 1).

Герметизация камеры от окружающей среды, роль которой в ФП выполняет лицевая часть, осуществляется полосой обтюрации (полосой прилегания лицевой части к коже лица) и системой клапанов вдоха и выдоха. Движущей силой динамического процесса является перепад давлений в камере: формируемое на фазе вдоха разрежение обеспечивает открытие клапана вдоха и поступление очищенного в фильтрующе-поглощающей коробке (ФПК) воздуха, а формируемое на фазе выдоха избыточное давление – открытие клапана выдоха для сброса воздуха до выравнивания давления в системе. Система будет находиться в статическом состоянии (на фазе задержки дыхания) при равенстве давлений внутри камеры и на наружных по отношению к ней сторонах клапанов.

Техническими параметрами, характеризующими работоспособность такой системы, являются:

- величина перепада давлений  $dP$  в камере, обеспечивающая формирование требуемого объемного расхода воздуха (глубина вдоха/выдоха за время фазы вдоха/выдоха) через клапанную систему;
- давления открытия  $P_{откр}$  и закрытия  $P_{закр}$  клапанов вдоха или выдоха, которые с некоторыми ограничениями можно считать предохранительными клапанами;

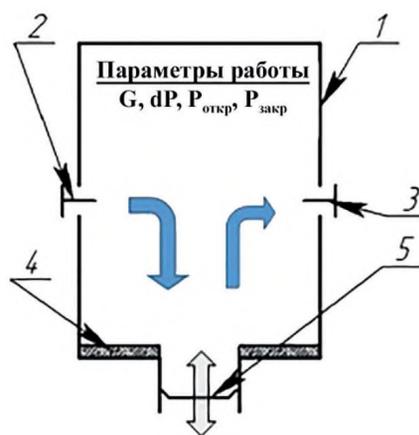


Рисунок 1 – Принципиальная схема проточной камеры. 1 – корпус камеры; 2 – клапан вдоха; 3 – клапан выдоха; 4 – полоса герметизации; 5 – побудитель расхода (составлена авторами)

<sup>7</sup> ГОСТ 12.2.085-2017 Арматура трубопроводная. Клапаны предохранительные. Выбор и расчет пропускной способности. М.: Стандартинформ; 2018. 65 с. ГОСТ 31294-2005.

Клапаны предохранительные прямого действия. Общие технические условия. М.: Стандартинформ; 2008. 27 с.

- расход воздуха  $G$  через седло клапана.

Среди указанной совокупности параметров нормируемой величиной является объемный расход воздуха, который с точки зрения физиологии организма человека соответствует значению минутного объема дыхания (МОД), определяемого произведением величин глубины вдоха ( $\Gamma_d$ ) и частоты дыхания ( $\nu$ )<sup>8</sup>. В зависимости от уровня физической нагрузки (тяжести выполняемых работ), значение МОД может составлять от 8 л/мин ( $\Gamma_d=0,5$  л,  $\nu=15-18$  мин<sup>-1</sup>) в условиях относительного покоя и до 90 л/мин ( $\Gamma_d=3,5-4,0$  л,  $\nu=40-45$  мин<sup>-1</sup>) при тяжелых физических нагрузках<sup>9</sup>.

В конструкциях ФП применяют так называемые клапаны лепесткового типа, которые оказывают незначительное сопротивление потоку воздуха (при объемном расходе воздуха 30 л/мин избыточные давления открытия/закрытия клапанов не превышает 2–3 мм вод.ст.). Размеры клапана рассчитаны таким образом, чтобы при нормальных условиях обеспечить удельный расход воздуха  $G$  на уровне 24–25 л/(мин см<sup>2</sup>)<sup>10</sup>. Основной вклад в формирование сопротивления дыханию в современных ФП вносит ФПК, сопротивление потоку воздуха которых при объемном расходе воздуха 30 л/мин находится в пре-

делах 15–30 мм вод. ст. в зависимости от габаритных размеров, способа укладки противозаэрозольного фильтра и высоты слоя поглотителя.

Обобщенные сведения о достигнутом уровне эргономических и эксплуатационных свойств современных фильтрующих противогазов приведены в таблице 1<sup>11</sup>.

Обоснование конструктивных особенностей узла полуоткрытой схемы дыхания разрабатываемого модуля было осуществлено на основе анализа характеристик и конструктивных особенностей современных ИДА СВ, включающих в себя ряд обязательных основных элементов: баллон со сжатым воздухом, понижающий редуктор и легочный автомат (ЛА), размещающийся на лицевой части.

Одним из основных элементов ИДА СВ является ЛА. По своему функциональному назначению ЛА аналогичен клапану вдоха в лицевой части ФП: дозирование сжатого воздуха через седло запирающего клапана с расходом, обеспечивающем требуемую величину  $\Gamma_d$ . Принципиальная схема ЛА представлена на рисунке 2.

Принцип работы ЛА заключается в следующем: на фазе вдоха в надмембранной полости формируется разрежение, мембрана 2

Таблица 1 – Обобщенные сведения об уровне эргономических и эксплуатационных свойств ряда образцов современных ФП (составлена авторами)

Показатель	Значение показателя для образца ФП марки						
	ГП-7 (ГП-7В)	ПФМ-1 (ППФ-95м, ПФМ-3П)	ПМК, (ПМК-2, ПМК-3, ПМК-4)	Бриз-3301	ГП-18	УЗС ВК Экран	ГП-21У
Масса, кг	0,85	1,0	1,1	1,3	1,1	1,4	0,9
Сопротивление дыханию, мм вод.ст., при МОД=30 л/мин	16	10	20	33	20	22	19
Температурный интервал работоспособности, °С	от минус 40 до плюс 40						
Герметичность, %, по аэрозолю масляного тумана	не более $1 \times 10^{-4}$						

<sup>8</sup> Ноздрачев АД, Маслоков ПМ. *Нормальная физиология: учебник*. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2019. 1088 с.

<sup>9</sup> Гудков СВ, Дворецкий СИ, Путин СВ, Таров ВП. *Изолирующие дыхательные аппараты и основы их проектирования: учебное пособие*. М.: Машиностроение; 2008. 188 с.

<sup>10</sup> Противогаз общеевойсковой фильтрующий ПМК-4. Руководство по эксплуатации АРПБ.305262.002.000РЭ.

<sup>11</sup> Министерство обороны Российской Федерации. URL: <https://www.encyclopedia.mil.ru> (дата обращения: 21.08.2023).

ООО «Бриз-Кама». Официальный сайт. URL: <https://briz-kama.ru/protivogazi-promishlennye> (дата обращения: 21.08.2023).

АО «Росхимзащита». Официальный сайт. URL: <https://krhz.ru/produksiya> (дата обращения: 21.08.2023).

Зелинский групп. Официальный сайт. URL: <https://protivogaz.ru/katalog> (дата обращения: 21.08.2023).

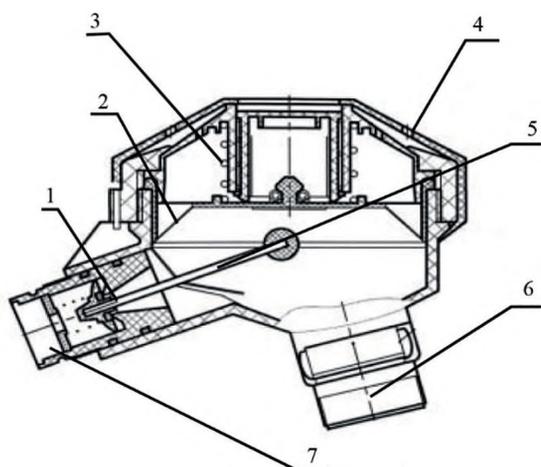


Рисунок 2 – Принципиальная схема устройства легочного автомата. 1 – запирающий клапан; 2 – мембрана; 3 – пружина мембраны; 4 – отверстия в крышке мембраны; 5 – шток клапана; 6 – патрубок установки на лицевую часть; 7 – патрубок магистрали редуцированного давления (схема составлена авторами)

прогибается и сдвигает шток 5 запирающего клапана 1, открывая магистраль редуцированного давления 7 и обеспечивая подачу воздуха на вдох. На фазе задержки дыхания подача редуцированного воздуха через клапан 1 продолжается до момента превышения давления в надмембранной полости над усилием пружины 3, и клапан 1 закрывается. В подмембранной полости, связанной с наружным воздухом через отверстия 4, исключается перепад давлений за счет движения мембраны

и под лицевой частью сохраняется атмосферное давление. В современных разработках ИДА СВ для обеспечения более комфортных условий пользователя конструктивно предусматривается создание под лицевой частью избыточного давления на уровне 300–400 Па за счет дополнительной установки подпирающей пружины на клапан выдоха. Обобщенные сведения о наиболее представительных образцах ИДА СВ представлены в таблице 2.

Представленные в таблице 2 данные показывают, что ИДА СВ рассчитаны на ограниченное время применения (в течение 40–120 мин), обладают достаточно большими массогабаритными характеристиками, но по показателю сопротивления вдоха превосходят современные ФП за счет работы ЛА и реализации постоянного подпора воздуха под лицевой частью.

На основе проведенного анализа конструктивного исполнения, уровня защитных, эксплуатационных и эргономических свойств ФП и ИДА СВ были сформированы следующие предварительные требования к универсальному модулю:

- модуль должен обеспечивать подачу воздуха на дыхание с объемным расходом от 8 до 90 л/мин;
- сопротивление дыханию СИЗОД с подключенным модулем при объеме легочной вентиляции, равной 30 л/мин, не должно превышать 20 мм вод.ст.;
- конструктивное исполнение модуля должно исключать воздействие паров хи-

Таблица 2 – Обобщенные сведения о характеристиках наиболее представительных образцов ИДА СВ\*

Показатель	Значение показателя для образца ИДА СВ марки			
	ПТС «Профи»	Спироматик QS-II	АП «Омега»	ДАСВ «Зевс»
Масса, кг	11,2–15,8	10,5–17,5	10,2–17,6	10,6–15,9
Сопротивление выдоху, мм вод.ст.	35	35	30	30
Время непрерывной работы при нагрузке средней тяжести (30 л/мин), мин	60–120	60–120	60–120	40–120
Величина редуцируемого давления, МПа	7,0–8,5			
Избыточное давление под лицевой частью, Па	200–400			
Количество баллонов СВ, шт.	1 или 2			
Давление воздуха в баллоне, МПа	29,4	29,4	29,4	19,6–29,4
Температурный интервал работоспособности, °С	от минус 40 до плюс 60			
* Средства защиты органов дыхания. URL: <a href="https://www.kzs-siz.ru/index.php">https://www.kzs-siz.ru/index.php</a> (дата обращения: 01.10.2023).				

мических веществ на внутренние элементы модуля;

- независимо от режима защиты модуль должен быть непроницаем для аэрозоля масляного тумана на уровне не более  $1 \times 10^{-4}$  % и работоспособен при температурах от минус 40 до плюс 40 °С.

При обосновании конструкции съемного модуля техническая задача была сведена к реализации в единой проточной камере способа выборочного переключения двух дыхательных контуров: одного, связанного через ФПК с окружающей атмосферой, а другого – от источника сжатого воздуха через дозирующее устройство, по типу ЛА.

В результате работы были обоснованы следующие принципиальные конструктивные решения.

*Во-первых*, съемный модуль не должен обеспечивать поддержание избыточного давления под лицевой частью в изолирующем режиме работы. Обусловлено это тем, что установка подпирающей пружины на клапан выдоха формирует сопротивление выдоху на уровне 200–400 Па (таблица 2). Поскольку разрабатываемый модуль должен обеспечивать работу СИЗОД в фильтрующем режиме защиты с продолжительностью до нескольких часов, то повышенное сопротивление дыханию (особенно на выдохе) приведет к существенному повышению изнуряющей способности СИЗОД<sup>12</sup>. Изменение же конструкции запирающего штатного клапана выдоха является технически сложным и в целом не обеспечит выигрыша в уровне эргономических свойств СИЗОД с учетом кратковременности использования режима полной изоляции от окружающего воздуха.

*Во-вторых*, мембрана узла дозирования не должна иметь связи с окружающей средой. Обусловлено это тем, что при длительном воздействии паров опасных и/или токсичных веществ на мембрану со средней толщиной порядка 0,5 мм, возможно образование конденсата и его проникание в дыхательный контур различными путями – за счет диффузионного переноса, растворения в полимере, натекания через пористую структуру материала и т.п.

*В-третьих*, из-за отсутствия в изолирующем режиме работы избыточного давления под лицевой частью практически невозможно осуществлять регулирование положения мембраны дозирующего устройства в зависи-

мости от фазы дыхательного цикла, что требует разработки дополнительного узла – узла регулирования подачи воздуха (УПВ).

*В-четвертых*, в конструкцию съемного модуля требуется введение дополнительного клапана на линии вдоха. Управление штатным клапаном вдоха, установленным внутри лицевой части, по аналогии с обоснованным для клапана выдоха выводом также является технически сложной задачей, дополнительно приводящей к изменению конструкции маски в целом и невозможности ее применения без универсального модуля.

*В-пятых*, для размещения исполнительного механизма узла блокирования дополнительного клапана вдоха необходимо сместить горловину ФПК от корпуса лицевой части. Такой подход ранее был реализован при конструировании противогаза ПМК-3 и успешно использовался для подсоединения ФПК с резьбовой горловиной к байонетному гнезду маски<sup>13</sup>.

При разработке УПВ было принято решение использовать в конструкции узла принцип так называемого пилотного (управляющего) клапана<sup>14</sup>. Схема разработанной конструкции УПВ показана на рисунке 3.

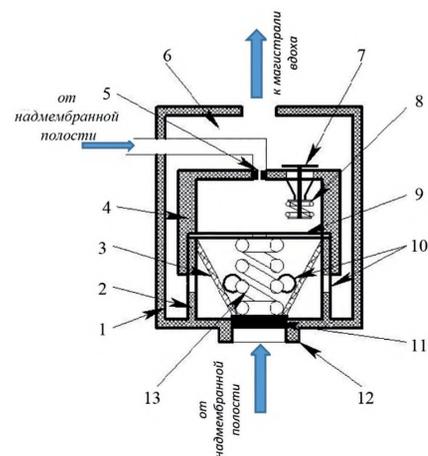


Рисунок 3 – Конструктивная схема узла подачи воздуха. 1 – ограничивающий контур УПВ; 2 – нижняя часть УПВ; 3 – эластичные стенки; 4 – верхняя часть УПВ; 5 – дюза; 6 – полость ограничивающего контура; 7 – управляющий клапан; 8 – пружина управляющего клапана; 9 – упорная шайба; 10 – воздухопроводные отверстия; 11 – выпускной клапан; 12 – седло уплотнителя; 13 – пружина выпускного клапана (схема авторов)

<sup>12</sup> Сайт горноспасателей. URL: <https://www.gornospassl.ru> (дата обращения: 01.10.2023).

<sup>13</sup> Общевойсковой фильтрующий противогаз ПМК-3. Руководство по эксплуатации ЕКТЦ.061438.010.000РЭ.

<sup>14</sup> Управление пневмораспределителями: основные типы и способы передачи сигнала. URL: <https://www.pnevmomash.ru/stati> (дата обращения: 28.08.2023).

Принцип работы предложенной конструкции УПВ в целом реализует классическую схему пневматической управляющей камеры. Основным отличием от существующих конструктивных решений является применение боковых стенок из эластичного материала. Такое решение обусловлено тем, что для упрощения конструкции модуля, снижения его массогабаритных характеристик была исключена непосредственная механическая связь с мембраной дозирующего устройства. Однако, поскольку отсутствие такой связи увеличивает время отклика положения мембраны от давления в управляющей камере, то ее функцию опосредованно будут выполнять стенки камеры: формирующееся на фазе вдоха разрежение в полости ограничивающего контура 6 прогибает стенки мембраны 3 наружу и за счет продольной упругости уменьшают прижимающее усилие пружины 13.

По результатам обоснованных конструктивных решений была сформирована конструкция съемного модуля, представленная на рисунке 4.

Конструктивно универсальный модуль состоит из герметично соединяющихся между собой корпуса 1 с отформованной ввинтной горловиной 5 для установки модуля на лицевую часть и крышки 2 с навинтной горловиной 8, в которой расположен лепестковый клапан вдоха 6. На расстоянии радиуса ФПК ( $R$ ) от центра седла клапана 6 крышка имеет

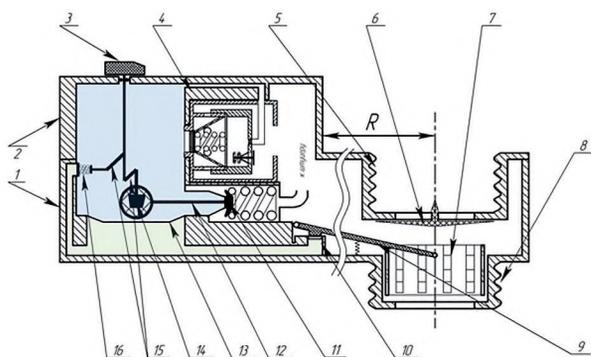


Рисунок 4 – Принципиальная схема устройства модуля. 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – двухпозиционный поворотный выключатель; 4 – узел подачи воздуха; 5 – ввинтная головина; 6 – клапан вдоха; 7 – цилиндрический блокиратор; 8 – навинтная горловина; 9 – подпружиненный шток; 10 – подъемный клапан; 11 – впускной клапан; 12 – шток впускного клапана; 13 – мембрана; 14 – толкатель; 15 – радиальные плечи штока поворотного выключателя; 16 – запорный клапан (схема авторов)

полый выступ для размещения основных узлов модуля.

Узел дозирования образован подпружиненным впускным клапаном 11 со штоком 12, соединяющийся со штуцером от магистрали редуцированного давления, и герметично установленной мембраной 13.

Узел подачи воздуха 4 размещен во внутренней полости модуля с образованием канала между надмембранной полостью (на рисунке выделена голубым цветом) и дюзой в УПВ. В надмембранной полости установлен поворотный переключатель режимов защиты 3 со штоком, имеющим радиальные плечи 15 для соединения с толкателем 14 и тягой клапана 16. Поворотный переключатель 3 имеет два положения: фиксированное положение «1» и свободное положение «2».

Подмембранная полость (на рисунке выделена салатовым цветом) помимо клапана 16 и мембраны 13 ограничена подъемным клапаном 10, упирающимся в пятку штока 9, одним концом шарнирно закрепленного с корпусом 1, а вторым – с цилиндрическим блокиратором 7.

Для установки на противогаз универсальный модуль вкручивается навинтной горловиной 8 в ответное гнездо маски противогаза, в горловину 5 вворачивается малогабаритная ФПК из комплекта противогаза, а к штуцеру присоединяется шланг редуцированного давления и открывается запорный вентиль от источника сжатого воздуха. Внешний вид изготовленной физической модели универсального модуля, размещенного на маске фильтрующего противогаза, представлен на рисунке 5.

Для запуска универсального модуля в изолирующий режим (рисунок 6) необходимо последовательно повернуть двухпозиционный переключатель 3 в фиксированное положение «1», а затем кратковременно – в свободное по-

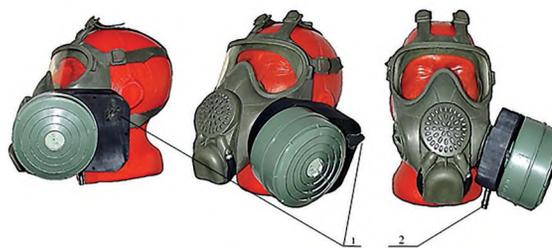


Рисунок 5 – Внешний вид физической модели универсального модуля. 1 – двухпозиционный переключатель режимов защиты; 2 – штуцер для подключения к шлангу редуцированного давления (фотографии авторов)

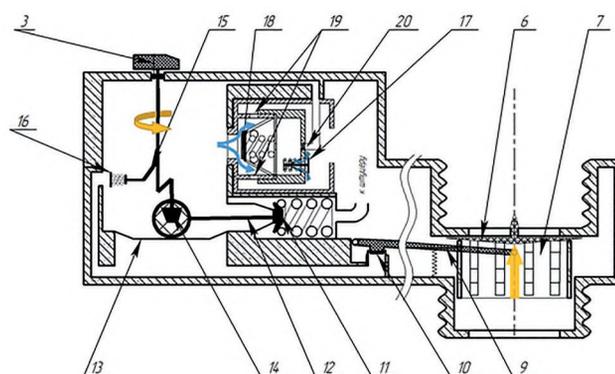


Рисунок 6 – Положение элементов модуля при запуске изолирующего режима. 17 – управляющий клапан; 18 – выпускной клапан; 19 – воздухопроводные отверстия в УПВ; 20 – дюза (остальные обозначения соответствуют рисунку 4). Схема авторов

ложение «2». В фиксированном положении «1» двухпозиционный переключатель 3 движением тяги плеча 15 приоткрывает запорный клапан 16. В свободном положении «2» за счет механического воздействия толкателя 14 шток 12 впускного клапана 11 смещается вдоль поверхности мембраны 13 и открывает доступ редуцированного воздуха во внутреннюю полость модуля. После возврата двухпозиционного переключателя 3 в фиксированное положение «1» впускной клапан 11 под действием редуцированного давления воздуха закрывается, а запирающий клапан 16 остается открытым. Избыток воздуха стравливается в лицевую часть через выпускной клапан 18, воздухопроводные отверстия 19, канал с дюзой 20 и управляющий клапан 17. Одновременно с этим поступивший в подмембранную полость редуцированный воздух воздействует на подъемный клапан 10, который через упорную пятку поднимает

шток 9 вместе с цилиндрическим блокиратором 7, запирая лепестковый клапан 6.

Возврат двухпозиционного переключателя 3 в исходное положение приводит к запиранию клапана 16 и изоляции подмембранной и надмембранной полостей. В этом случае пневмосистема модуля переходит в статичное положение, при котором в надмембранной, подмембранной полостях и во внутреннем объеме УПВ поддерживается избыточное давление, равное давлению открытия управляющего клапана 17.

На фазе вдоха в изолирующем режиме (рисунок 7) за счет формирующегося разрежения эластичные стенки 21 управляющей камеры начинают прогибаться наружу и уменьшают прижимающее усилие пружины 22. Одновременно с этим открывается управляющий клапан 17, воздух вытекает из объема управляющей камеры и выпускной клапан 18 открывается. Поскольку проходное

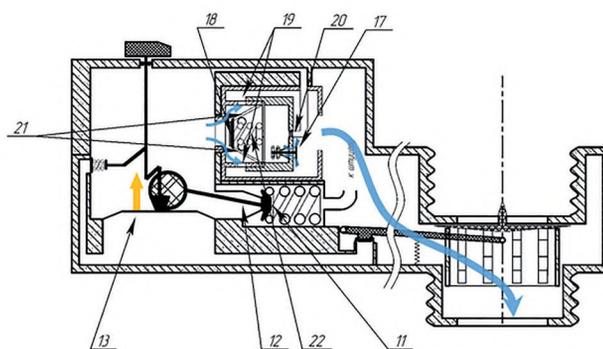


Рисунок 7 – Положение элементов модуля на фазе вдоха. 21 – эластичные стенки управляющей камеры; 22 – прижимная пружина выпускного клапана (остальные обозначения соответствуют рисункам 4 и 6). Схема авторов

сечение дюзы 20 значительно меньше проходного сечения управляющего клапана 17, то на протяжении всей фазы вдоха в управляющей камере поддерживается разрежение и выпускной клапан 18 остается открытым. Воздух из надмембранной полости через выпускной клапан 18, воздухопроводные отверстия 19 начинает поступать на вдох и давление в полости снижается. За счет разницы давлений в надмембранной и подмембранной полостях происходит подъем мембраны 13, которая механическим усилием сдвигает шток 12 и открывает впускной клапан 11. Положение элементов модуля на фазе вдоха показано на рисунке 6.

На фазах задержки дыхания и выдоха в изолирующем режиме разрежение внутри корпуса отсутствует и пневмосистема модуля переходит в статичное положение, аналогичное состоянию при запуске изолирующего режима.

Для отключения изолирующего режима необходимо двухпозиционный переключатель 3 (рисунок 4) перевести в фиксированное положение «1», продолжая дыхание. За счет открытия клапана 16 давление в подмембранной полости сбрасывается, подпружиненный шток 9 возвращается в исходное положение и блокиратор 7 открывает клапан вдоха 6.

Для прогнозной оценки работоспособности основных узлов универсального модуля осуществлялись расчеты барических параметров в управляющей камере, надмембранных и подмембранных полостях, опре-

деление необходимых сил упругости пружин для герметизации клапанов в седлах, а также размеры клапанов, обеспечивающие требуемый уровень расход воздуха.

Расчеты проводились для следующих начальных параметров:

- абсолютное начальное давление воздуха –  $10^5$  Па;
- избыточное давление в надмембранной и подмембранной полостях – от 50 до 5000 Па;
- отношение площадей управляющего и выпускного клапанов – от 0,002 до 0,01 относительных единиц;
- внутренний объем пневмосистемы модуля –  $350 \text{ см}^3$ ;
- температура воздуха – 293 К;
- показатель адиабаты  $k$  – 1,4;
- плотность воздуха перед выпускным клапаном –  $2,4 \text{ кг/м}^3$ .

На изготовленной физической модели универсального модуля оценивалась работоспособность узлов, обеспечивающих работу в изолирующем режиме. Работа в изолирующем режиме имитировалась блокировкой клапан вдоха, созданием в полостях модуля рассчитанных значений избыточного давления и оценкой положений клапанов на различных фазах дыхания с определением пропускной способности выпускного клапана.

В качестве примера в таблице 3 представлены значения параметров проведенных прогнозных расчетов и экспериментальной апробации работоспособности основных узлов.

**Таблица 3 – Результаты прогнозного расчета и экспериментальной апробации работоспособности разрабатываемого модуля в изолирующем режиме (составлена авторами)**

Наименование параметра	Значение параметра	Результаты экспериментальной апробации работоспособности узлов
Запуск изолирующего режима		
Давление в управляющей камере, Па	102000,00	После сброса избытка воздуха управляющий и выпускной клапана закрыты, сброса воздуха не происходит
Давление в ограничивающем контуре, Па	100000,00	
Сила давления на выпускной клапан со стороны управляющей камеры, Н	12,24	
Сила давления на выпускной клапан со стороны надмембранной полости, Н	12,24	
Требуемое усилие пружины для герметизации выпускного клапана, Н	1,23	
Требуемое усилие пружины для герметизации управляющего клапана, Н	0,06	

Продолжение таблицы 3

Наименование параметра	Значение параметра	Результаты экспериментальной апробации работоспособности узлов
Начало фазы вдоха (оценка работоспособности управляющего клапана)		
Давление в управляющей камере, Па	102000,00	Управляющий клапан открывается при отборе из объема пневмосистемы 50 см <sup>3</sup> воздуха
Давление в ограничивающем контуре, обеспечивающее открытие клапана, Па	97142,86	
Силы воздействия пружины и давления из полости управляющей камеры, Н	2,86	
Сила давления на управляющий клапан со стороны полости ограничивающего контура, Н	2,72	
Продолжение вдоха (оценка работоспособности выпускного клапана)		
Давление под седлом выпускного клапана, Па	102000,00	Выпускной клапан открывается при отборе из объема пневмосистемы 100 см <sup>3</sup> воздуха. Пропускная способность выпускного клапана составляет до 1,9 л/с (тяжелая физическая нагрузка)
Давление в управляющей камере, обеспечивающее открытие выпускного клапана, Па	71428,57	
Силы воздействия пружины и давления из полости управляющей камеры, Н	9,38	
Сила давления на выпускной клапан со стороны надмембранной полости, Н	10,20	
Фаза задержки дыхания и выдоха (оценка положений управляющего и выпускного клапанов)		
Давление под седлом выпускного клапана, Па	102000,00	Выпускной и управляющие клапана закрываются, истечения воздуха из управляющей камеры в ограничивающий контур не происходит
Давление в управляющей камере, Па	102000,00	
Давление в ограничивающем контуре, Па	100000,00	
Силы воздействия на управляющий клапан пружины и давления в полости управляющей камеры, Н	2,90	
Сила воздействия на управляющий клапан давления в ограничивающем контуре, Н	2,70	
Силы воздействия на выпускной клапан пружины и давления в полости управляющей камеры, Н	12,24	
Сила давления на выпускной клапан со стороны надмембранной полости, Н	10,20	

Результаты, представленные в таблице 3, свидетельствуют, что при вдохе открытие управляющего клапана осуществляется при незначительном снижении давления в ограничивающем контуре, т.е. обеспечивается быстрое действие всей пневмосистемы.

Открытие выпускного клапана происходит при двукратном увеличении объема отбираемого из полости модуля воздуха, однако не приводит к созданию высокого разрежения в ограничивающем контуре и, следовательно, формированию значительного сопротивления вдоху. Геометрические размеры выпускного клапана при поддержании требуемой величины избыточного давления под седлом обеспечивают подачу воздуха на вдох с объемной скоростью на уровне 1,9 л/с,

что соответствует требуемому значению МОД для тяжелой физической нагрузки. На фазах задержки дыхания и выдоха пневмосистема возвращается в исходное статичное положение.

**Вывод**

Представленные результаты свидетельствуют о работоспособности разработанной конструкции универсального модуля, обеспечивающей реализацию режима полной изоляции штатным комплектом фильтрующего противогаза при физической нагрузке различной степени тяжести. В рамках дальнейших исследований планируется осуществить изготовление действующего макета универсального модуля и его полноценные испытания на испытателях-добровольцах.

### *Список источников/References*

1. Путин СБ, Самарин ВД. Комплексная система химической безопасности России: теоретические основы и принципы построения. М.: Машиностроение; 2010. 280 с.  
Putin SB, Samarina VD. Complex system of chemical safety of Russia: theoretical bases and principles of construction. Moscow: Mechanical engineering; 2010. 280 p.
2. Батырев ВВ, Живулин ГА, Сосунов ИВ, Садовский ИЛ. Оценка эффективности и качества фильтрующих средств индивидуальной защиты органов дыхания населения в чрезвычайных ситуациях. Монография. Батырев ВВ, ред. М.: ФГБУ ВНИИ ГО ЧС (ФЦ); 2017. 424 с.  
Batyrev VV, Zhivulin GA, Sosunov IV, Sadovsky IL. Evaluation of efficiency and quality of the filtering individual protection equipment of respiratory organs of the population in emergency situations. The monograph. Batyrev VV, Ed. Moscow: Federal State Budgetary Institution All-Russian Research Institute GO ChS (FTs); 2017. 424 p.
3. Де-Лазари АН. Химическое оружие на фронтах Мировой войны 1914–1918 гг.: Краткий исторический очерк. М.; 2008.  
De-Lazzari AN. Chemical weapon on fronts of World war of 1914-1918: Short historical sketch. Moscow; 2008.
4. Simon J, Hook R. World war I gas warfare tactics and equipment. Oxford: Osprey Publishing; 2007.
5. Фигуровский НА. Очерк развития русского противогаза во время империалистической войны 1914–1918 гг. М., Л.; 1942.  
Figurovsky NA. A sketch of development of the Russian gas mask during imperialistic war of 1914–1918. Moscow, Leningrad; 1942.
6. Чоркендорф И, Наймантсведрайт Х. Современный катализ и химическая кинетика. Перевод с англ. Ролдугина ВИ. Долгопрудный: Интеллект; 2010. 501 с.  
Chorkendorf I, Naymantsvedrayt H. Modern catalysis and chemical kinetics. The translation from English Roldugin VI. Dolgoprudny: Intelligence; 2010. 501 p.
7. Комаров ВС, Бесараб СВ. Адсорбенты и носители катализаторов. Научные основы регулирования пористой структуры. М.: Инфра-М; 2023.  
Komarov VS, Besarab SV. Adsorbents and carriers of catalysts. Scientific bases of regulation of porous structure. Moscow: Infra-M; 2023.
8. Мальцев СА, Вебер ЕВ, Иноземцев ВА, Цапок МВ, Беляков ПЕ, Ковтун ВА, Антохин АА. О ходе выполнения первоочередных мероприятий по устранению накопленного вреда окружающей среде от деятельности химических предприятий на территории г. Усолье-Сибирское Иркутской области. Вестник войск РХБ защиты. 2021;5(2):136–48. EDN:iuwwyg.  
<https://doi.org/10.35825/2587-5728-2021-5-2-136-148>
9. Владимиров ВА, Измалков ВИ, Измалков АВ. Радиационная и химическая безопасность населения. М.: Деловой экспресс; 2005. 544 с.  
Vladimirov VA, Izmalkov VI, Izmalkov AV. Radiation and chemical safety of the population. Moscow: Business express; 2005. 544 p.

### *Вклад авторов / Authors' contributions*

Все авторы подтверждают соответствие своего авторства критериям ICMJE. Наибольший вклад распределен следующим образом: **А.Ю. Ковалев** – написание материалов статьи, проведение параметрического моделирования и прогнозных расчетов, разработка чертежей и электронной 3D модели модуля; **С.В. Блинов** – проведение параметрического моделирования, техническое оформление материалов статьи; **С.А. Ткаченко** – изготовление физической модели модуля, корректировка параметрических данных; **М.П. Шабельников, О.А. Кулажин** – критические обсуждения материалов статьи / All authors confirm that they meet the International Committee of Medical Journal Editors (ICMJE) criteria for authorship. The most significant contributions were as follows: **A.Yu. Kovalyov** – writing the article, carrying out parametrical modeling and expected calculations, development of drawings and electronic 3-D models of the module; **S.V. Blinov** – carrying out parametrical modeling, technical design of the article; **S.A. Tkachenko** – production of physical model of the module, updating of parametrical data; **M.P. Shabelnikov, O.A. Kulazhin** – critical discussion of the article.

### *Информация о конфликте интересов / Conflict of interest statement*

Авторы заявляют, что исследования проводились при отсутствии любых коммерческих или финансовых отношений, которые могли бы быть истолкованы как потенциальный конфликт интересов / The authors

declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationship that could be construed as a potential conflict of interest.

***Сведения о рецензировании / Peer review information***

Статья прошла двустороннее анонимное «слепое» рецензирование двумя рецензентами, специалистами в данной области. Рецензии находятся в редакции журнала и в РИНЦе / The article has been double-blind peer reviewed by two experts in the respective field. Peer reviews are available from the Editorial Board and from Russian Science Citation Index database.

***Финансирование / Funding***

Федеральное государственное бюджетное учреждение «27 Научный центр» Министерства обороны Российской Федерации. / Federal State Budgetary Establishment «27 Scientific Centre» of the Ministry of Defence of the Russian Federation.

***Об авторах / Authors***

Федеральное государственное бюджетное учреждение «27 Научный центр» Министерства обороны Российской Федерации, 111024, Российская Федерация, г. Москва, Проезд энтузиастов, д. 19.

*Ковалев Андрей Юрьевич.* Старший научный сотрудник, канд. техн. наук, доцент

*Блинов Сергей Валентинович.* Старший научный сотрудник, канд. техн. наук.

*Ткаченко Сергей Александрович.* Начальник отдела, канд. техн. наук.

*Шабельников Максим Петрович.* Заместитель начальника 27 НИЦ МО РФ по НИР, канд. техн. наук.

*Кулажин Олег Анатольевич.* Заместитель начальника управления, канд. хим. наук.

***Контактная информация для всех авторов:*** 27nc\_1@mil.ru

***Контактное лицо:*** Ковалев Андрей Юрьевич; 27nc\_1@mil.ru

Federal State Budgetary Establishment «27 Scientific Centre» of the Ministry of Defence of the Russian Federation, 111024, Russian Federation, Moscow, Entuziastov Passage, 19.

*Andrey Yu. Kovalyov.* Senior Researcher. Cand. Sci. (Techn.)

*Sergey B. Blinov.* Senior Researcher. Cand. Sci. (Techn.)

*Sergey A. Tkachenko.* Head of the Department. Cand. Sci. (Techn.)

*Maxim P. Shabelnikov.* Deputy Head of the «27 Scientific Centre», MD RF. Cand. Sci. (Techn.).

*Oleg A. Kulazhin.* Deputy Head of the Department. Cand. Sci. (Chem.).

***Contact information for all authors:*** 27nc\_1@mil.ru

***Contact person:*** Andrey Yu. Kovalyov ; 27nc\_1@mil.ru